

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н. Хрусталеv В. А.
“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физические основы микро- и наноэлектоники

Образовательная программа: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств,
профиль: Проектирование и технология радиоэлектронных средств

Курс: 3, семестр : 5

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	81
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	18
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	7
10	Самостоятельная работа, час.	63
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

ФГОС введен в действие приказом №1333 от 12.11.2015 г. , дата утверждения: 30.11.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, базовая

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

КТРС, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

доцент, к.т.н. Дорогой С. В.

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Синельников А. В.

Ответственный за образовательную программу:

декан Хрусталева В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.5 готовность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств; в части следующих результатов обучения:	
з1. знать физические основы микро и нанoeлектроники, свойства материалов электронной техники	
Компетенция ФГОС: ПК.6 готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств, в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования; в части следующих результатов обучения:	
з3. знать кинетику, основные закономерности гетерогенных реакций, лежащих в основе типовых технологических процессов изготовления структур интегральных микросхем	
у3. уметь рассчитать основные технологические параметры процесса с учетом газодинамических характеристик, расходов и режимов установки	
у4. уметь выбирать типовой технологический процесс изготовления, исходя из требований к характеристикам структур	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Физические основы микро- и нанoeлектроники</i>	
ПК.5.з1 знать физические основы микро и нанoeлектроники, свойства материалов электронной техники	
1. закономерности фазовых переходов, используемых в микроэлектронике	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.6.з3 знать кинетику, основные закономерности гетерогенных реакций, лежащих в основе типовых технологических процессов изготовления структур интегральных микросхем	
2. оценивать влияние внешних факторов на протекание технологических процессов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.6.у4 уметь выбирать типовой технологический процесс изготовления, исходя из требований к характеристикам структур	
4. связь между термодинамическими потенциалами (U , H , F , G) и параметрами системы	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.6.у3 уметь рассчитать основные технологические параметры процесса с учетом газодинамических характеристик, расходов и режимов установки	
5. перспективы микро- и нанoeлектроники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Термодинамика фазовых переходов				
1. Правило фаз Гиббса. Термодинамическая система и ее характеристика	0	2	1, 4	Лекция

2. Равновесное состояние однокомпонентной системы. Уравнение Клапейрона.	0	2	1, 4	Лекция
3. Метастабильное состояние однокомпонентной системы	0	2	1	Лекция
4. Термодинамика поверхности. Уравнение Лапласа.	0	2	1, 4	Лекция
5. Гомогенное зародышеобразование новой фазы. Уравнение Кельвина.	0	2	1, 4	Лекция
6. Гетерогенное зародышеобразование новой фазы	0	2	1, 4	Лекция
7. Полиморфизм и политипизм кристаллов.	0	2	1, 5	Лекция
Дидактическая единица: Основные технологические процессы микроэлектроники				
8. Основные типы Т-х диаграмм состояния двухкомпонентных систем.	0	2	1	Лекция
9. Получение монокристаллического кремния. Методы очистки соединений кремния, дистилляция, адсорбция, зонная плавка. Метод выращивания монокристаллов - метод Чохральского.	0	2	1, 2, 5	Лекция
10. Термическая диффузия. Законы Фика. Основные режимы диффузии.	0	2	2	Лекция
11. Термическое окисление кремния. Модель Дила-Гроува.	0	2	1, 2	Лекция
12. Ионная имплантация. Параметры и закономерности процесса.	0	2	2, 5	Лекция
13. Гомоэпитаксия из газовой фазы. Оборудование, реакции, процессы массопереноса в реакторе.	0	4	2, 5	Лекция
14. Молекулярно-лучевая эпитаксия.	0	2	2, 5	Лекция
15. Твердофазная эпитаксия.	0	2	1, 5	Лекция
16. Литография. Фотолитография, фоторезисты, методы оптической литографии, предельное разрешение.	0	2	5	Лекция
17. Трансмутационное легирование полупроводников на примере Si и Ge. Основные ядерные реакции.	0	2	5	Лекция

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				

Дидактическая единица: Основные технологические процессы микроэлектроники				
1. Расчет технологического процесса эпитаксии кремния из газовой фазы	1	4	1, 2, 4	Расчитывается концентрация легирующей примеси в рабочем растворе для получения эпитаксиальных пленок с заданным удельным сопротивлением. Определяется количество установок и рабочих материалов для выполнения годовой программы.
2. Моделирование процесса газофазной эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления.	1	4	1, 2	Анализ влияния технологических параметров на выход годных пластин.
3. Определение физико-химических параметров полупроводников	1	4	2	Для заданного полупроводника рассчитываются кристаллографические и молекулярные параметры.
4. Методы определения линейных размеров элементов микросхем и толщин пленок на микроскопах МИИ-4, Биолам, МБС-10.	1	6	2, 5	Работас микроскопами. Определение линейных размеров отдельных элементов транзисторов на пластине. Расчет глубины диффузии по методу шарового шлифа. Определение толщин диэлектрических и металлических пленок на пластине кремния.

Таблица 3.3

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Термодинамика фазовых переходов				
1. Термодинамические потенциалы. Соотношение между потенциалами. Законы термодинамики.	2	2	4	Получение соотношений между внутренней энергией U, энтальпией H, энергией Гельмгольца F, энергией Гиббса.
Дидактическая единица: Основные технологические процессы микроэлектроники				
2. Концентрационные шкалы	2	2	2	Пересчитывать концентрации компонентов в одной из трех концентрационных шкалах, в массовых, объемных или молярных долях.
3. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Метод термического анализа.	2	2	2	Построение кривых охлаждения, определение числа степеней свободы по правилу фаз Гиббса.
4. Физико-химические параметры полупроводников.	2	2	5	Расчет кристаллографических параметров полупроводников - Si, Ge, GaP, GaAs, InP, SiC-3C, GaN (сфалерит).

5. Диффузия. Законы Фика. Основные варианты диффузии, загонка, разгонка. Распределение концентрации примесей.	2	4	2	Определение концентрации примесей на определенной стадии. Формулирование начальных и граничных условий.
6. Термическое окисление кремния.	2	4	1, 2	Определять толщину двуокиси кремния при определенных технологических условиях.
7. Газофазная эпитаксия кремния	2	2	1, 2	Определение газодинамических параметров, числа Рейнольдса.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Основные технологические процессы	2	4	1
: Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 "Конструирование и технология электронных средств" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2014. - 29, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854				
2	Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления	1, 2	20	2
Анализ коэффициентов влияния различных факторов на среднеквадратичное отклонение толщины эпитаксиальной пленки от номинала, выбор режима работы реактора, построение зависимостей.: Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 "Конструирование и технология электронных средств" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2014. - 29, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854				
3	Подготовка к занятиям	1, 2, 4	10	1
Оформление отчетов по лабораторным работам. Подготовка к защите лабораторных работ.: Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 "Конструирование и технология электронных средств" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2014. - 29, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854				
4	Подготовка к аттестации	1, 2, 4, 5	29	3
Подготовка к экзамену: Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 "Конструирование и технология электронных средств" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2014. - 29, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail
Консультирование	e-mail

Контроль	e-mail; Личный типовой сайт
Размещение учебных материалов	Личный типовой сайт

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 5		
<i>Лекция:</i>	5	10
<i>Лабораторная:</i>	5	10
<i>Практические занятия:</i>	5	10
<i>Контрольные работы:</i>	5	10
<i>РГЗ:</i>	10	20
<i>Экзамен:</i>	20	40
Контролирующие материалы - список вопросов		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля			
		Защита ЛР	Контр. раб.	Защита РГЗ	Экзамен
ПК.5	з1. знать физические основы микро и нанoeлектроники, свойства материалов электронной техники	+		+	+
ПК.6	з3. знать кинетику, основные закономерности гетерогенных реакций, лежащих в основе типовых технологических процессов изготовления структур интегральных микросхем	+	+	+	+
	у3. уметь рассчитать основные технологические параметры процесса с учетом газодинамических характеристик, расходов и режимов установки				+
	у4. уметь выбирать типовой технологический процесс изготовления, исходя из требований к характеристикам структур				+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур. Ч. 2 : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 225, [1] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208144

2. Барыбин А. А. Электроника и микроэлектроника физико-технологические основы : учебное пособие для вузов по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" / А. А. Барыбин. - М., 2006. - 423 с. : ил.
3. Барыбин А. А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур : [учебное пособие для вузов по специальностям "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" и др.] / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, Н. П. Томилина ; Сиб. федер. ун-т, [Ин-т инженер. физики и радиоэлектроники]. - Красноярск, 2011. - 243 с. : ил., граф., схемы

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 "Конструирование и технология электронных средств" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2014. - 29, [1] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Терминальный класс

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы микро- и наноэлектоники

Образовательная программа: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств,
профиль: Проектирование и технология радиоэлектронных средств

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине «Физические основы микро - и наноэлектроники» приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен)
ПК.5/ПК готовность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств	з1. знать физические основы микро и наноэлектроники, свойства материалов электронной техники	Гетерогенное зародышеобразование новой фазы Гомогенное зародышеобразование новой фазы. Уравнение Кельвина. Метастабильное состояние однокомпонентной системы Моделирование процесса газофазной эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления. Получение монокристаллического кремния. Методы очистки соединений кремния, дистилляция, адсорбция, зонная плавка. Метод выращивания монокристаллов - метод Чохральского. Расчет технологического процесса эпитаксии кремния из газовой фазы	Отчет по лабораторной работе №1, РГЗ	Экзамен, вопросы 1-13
ПК.6/ПК готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств, в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	з2. знать кинетику, основные закономерности гетерогенных реакций, лежащих в основе типовых технологических процессов изготовления структур интегральных микросхем	Газофазная эпитаксия кремния Диффузия. Законы Фика. Основные варианты диффузии, загонка, разгонка. Распределение концентрации примесей. Концентрационные шкалы Моделирование процесса газофазной эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления. Расчет технологического процесса эпитаксии кремния из газовой фазы Термическое окисление кремния. Модель Дила-Гроува.	Контрольная работа. Отчет по лабораторной работе № 2. РГЗ.	Экзамен, вопросы 14-17
ПК.6/ПК	у3. уметь рассчитать основные технологические параметры процесса с учетом газодинамических характеристик, расходов и режимов установки	Ионная имплантация. Параметры и закономерности процесса. Литография. Фотолитография, фоторезисты, методы оптической литографии, предельное разрешение. Трансмутационное легирование полупроводников на примере Si и Ge. Основные ядерные реакции.	Отчет по лабораторной работе № 3	Экзамен, вопросы 18-22
ПК.6/ПК	у4. уметь выбирать типовой технологический процесс изготовления,	Гетерогенное зародышеобразование новой фазы Правило фаз Гиббса. Термодинамическая система и ее характеристика	Отчет по лабораторной работе № 4	Экзамен, вопросы 23-26

	исходя из требований к характеристикам структур	Равновесное состояние однокомпонентной системы. Уравнение Клапейрона. Термодинамика поверхности. Уравнение Лапласа. Термодинамические потенциалы. Соотношение между потенциалами. Законы термодинамики.		
--	---	---	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.5/ПК, ПК.6/ПК.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.5/ПК, ПК.6/ПК, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физические основы микро - и нанoeлектроники», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет состоит из двух вопросов. (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет радиотехники и электроники

Билет № 4

к экзамену по дисциплине «Физические основы микро - и нанoeлектроники»

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Точечные дефекты в кристаллах. Квазихимические уравнения образования точечных дефектов.2. Фотолитография: маршрут и типовые технологические процессы (краткая характеристика). Негативный и позитивный процессы. Проекционное и контактное экспонирование. |
|--|

Утверждаю: зав. кафедрой КТРС, доцент _____ Синельников А.В.

Дата: 20 июня 2017 г.

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент не ответил на все вопросы, не дал определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, оценка составляет **2-10 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет **11-20 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, оценка составляет **21-30 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы, проводит комплексный анализ, понимает суть явлений, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, оценка составляет **31-40 баллов**.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. **Вопросы к экзамену по дисциплине «Физические основы микро- и наноэлектроники»**
1. Основные группы технологических процессов в микроэлектронике.
 2. Полиморфизм и политипизм. Описание политипных структур на основе карбида кремния.
 3. Жидкие кристаллы, основные типы.
 4. Принцип работы жидкокристаллической ячейки в устройствах отображения информации.
 5. Технология получения полупроводникового кремния. Получение технического кремния. Получение и методы очистки кремний содержащих жидкостей (SiCl_4 , SiHCl_3).
 6. Методы очистки кристаллического кремния. Зонная плавка (тигельная и бестигельная).
 7. Выращивание монокристаллического кремния (метод Чохральского).
 8. Термодинамика поверхности раздела двух фаз. Уравнение Лапласа.
 9. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
 10. Уравнение Кельвина-Томсона.
 11. Капиллярные явления. Экспериментальное определение коэффициента поверхностного натяжения.
 12. Р-Т диаграмма однокомпонентной системы. Фазовые переходы.
 13. Метастабильное состояние однокомпонентной системы. Пересыщение и переохлаждение. Методы создания метастабильного состояния.
 14. Гомогенная модель зарождения и роста новой фазы. Критический зародыш новой фазы.
 15. Гетерогенная модель зарождения и роста новой фазы.
 16. Газофазная эпитаксия Si в реакторе атмосферного давления. Схема процесса и основные реакции. Параметры процесса, влияющие на однородность пленок по толщине. Диффузионная и кинетическая области.
 17. Диффузия. Первый и второй закон Фика. Начальные и граничные условия для диффузии из постоянного и ограниченного источника.
 18. Ионное легирование. Физические основы и схема процесса.
 19. Особенности структур, получаемых ионным легированием (примесный профиль, радиационные дефекты, эффект каналирования).
 20. Фотолитография: маршрут и типовые технологические процессы (краткая характеристика). Негативный и позитивный процессы. Проекционное и контактное экспонирование.
 21. Предельное разрешение процесса фотолитографии. Методы достижения.
 22. Нейтронное трансмутационное легирование полупроводников. Основные реакции (электронный и позитронный бета-распад, К-захват).
 23. Точечные дефекты в кристаллах. Квазихимические уравнения образования точечных дефектов.
 24. Твердофазная эпитаксия. Принципы, условия проведения.
 25. Термическое окисление кремния.
 26. Термодинамическая система. Правила фаз Гиббса. Т-х диаграммы двухкомпонентных систем.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Физические основы микро- и нанoeлектроники», 5 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам: концентрационные шкалы и кристаллографические параметры полупроводников, включает по одному заданию из каждой темы. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если не выполнено в полном объеме ни одного задания. Оценка составляет **0-2** балла.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено только одно задание. Оценка составляет **3-4** балла.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнены оба задания с незначительными погрешностями. Оценка составляет **5-7** баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если выполнены оба задания и даны комментарии. Оценка составляет **8-10** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

1. Определить мольную долю мышьяка (As) в твердом растворе Ge-As, содержащем 97 мас.% Ge. $M_{Ge}=72,56$ г/моль, $M_{As}=74,92$ г/моль.
2. Рассчитать число атомов Ge в элементарной ячейке германия.

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Физические основы микро- и нанoeлектоники», 5 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны промоделировать процесс эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления в соответствии с исходными данными в программе моделирования технологических процессов Пакет-2.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ влияния технологических параметров на выход годных пластин, оценить коэффициенты влияния, оптимизировать параметры с целью повышения выхода годных, построить графики.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если не проведен анализ влияния технологических параметров на воспроизводимость толщины эпитаксиальных слоев, не выбран оптимальный вариант соотношения числа процессов и числа точек для построения графиков, задан ошибочный диапазон изменения технологических параметров, отсутствует схема и описание процесса эпитаксии, оценка составляет 0-5 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если анализ влияния технологических параметров на воспроизводимость толщины эпитаксиальных слоев выполнен формально, выбранный вариант режима процесса выходит за рамки задания, отсутствует описание процесса, оценка составляет 6-10 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если сделан анализ влияния технологических параметров на воспроизводимость толщины эпитаксиальных слоев, выбран оптимальный вариант соотношения числа процессов и числа точек для построения графиков, оценка составляет 11-16 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если сделан анализ влияния технологических параметров на воспроизводимость толщины эпитаксиальных слоев, выбран оптимальный вариант соотношения числа процессов и числа точек для построения графиков, правильно задан диапазон изменения технологических параметров, есть схема и описание процесса эпитаксии, оценка составляет 17-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р). Варианты заданий

- 4.1. Провести рабочие процессы для заданных в варианте параметрах, определить процент выхода годных пластин. Определить коэффициенты влияния (КВ) технологических параметров на среднеквадратичное отклонение (СКО) толщины эпитаксиальных слоев от номинала.
- 4.2. Проанализировать влияние технологических параметров на скорость роста эпитаксиальных слоев, СКО, процент выхода годных пластин в соответствии с заданным разбросом параметров. Построить графики зависимостей.
- 4.3. Добиться максимального выхода годных пластин при загрузке пластин на трех ярусах.

Сделать выводы о факторах, влияющих на выход годных изделий. Провести контрольные и рабочие процессы. Построить гистограммы распределения толщин эпитаксиальных пленок. Занести в таблицу параметры процесса, обеспечивающих максимальный процент выхода годных пластин.

Исходный параметр	Номер варианта		
	1	2	3
Температура эпитаксии, °C	1170±40	1170±40	1100±30
Температура стенок реактора, °C	100±50	400±150	100±50
Температура испарителя SiCl ₄ , °C	20±1	25±5	25±2
Общий расход ПГС, л/час	1000±150	4000±350	1500±200
Относительная объём. концентрация $\frac{SiCl_4}{H_2}$, %	1	0,5	1
Давление на входе реактора, мм рт. ст.	1120±100	1500±400	1200±100
Температура газа на входе реактора, °C	25±5	30±6	30±5
Радиус реактора, см	12±0,5	18±0,7	19±0,8
Радиус подставки, см	9,5±0,5	14±0,5	17,5±0,8
Угол наклона подставки, °	0	0	0
Диаметр пластин, мм	60	76	100
Толщина эпитаксиальной пленки, мкм	6±1	7±1	7±1
Колебания расхода через испаритель, %	±10	±17	±15